



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

CLÁUDIO JOSÉ PEREIRA DA SILVA

**EFEITOS DA VARIABILIDADE HIDROCLIMÁTICA SOBRE O ESTADO TRÓFICO
EM UM RESERVATÓRIO DO SEMIÁRIDO**

**CAMPINA GRANDE
2021**

CLÁUDIO JOSÉ PEREIRA DA SILVA

**EFEITOS DA VARIABILIDADE HIDROCLIMÁTICA SOBRE O ESTADO TRÓFICO
EM UM RESERVATÓRIO DO SEMIÁRIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo)
apresentado à Coordenação
/Departamento do Curso de Ciências
Biológicas da Universidade Estadual da
Paraíba, como requisito para a obtenção
do título de Graduado em Ciências
Biológicas

Área de concentração: Ecologia Aquática

Orientador: Prof. Dr. José Etham de Lucena Barbosa

Coorientadora: Prof. Dra. Vanessa Virgínia Barbosa

**CAMPINA GRANDE
2021**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586e Silva, Cláudio José Pereira da.
Efeitos da variabilidade hidroclimática sobre o estado trófico em um reservatório do semiárido [manuscrito] / Claudio Jose Pereira da Silva. - 2021.
21 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 2021.

"Orientação : Prof. Dr. José Etham de Lucena Barbosa ,
Coordenação do Curso de Ciências Biológicas - CCBSA."

1. Precipitação pluviométrica. 2. Eutrofização. 3. Fósforo.
4. Qualidade da água. I. Título

21. ed. CDD 577.6

CLÁUDIO JOSÉ PEREIRA DA SILVA

**EFEITOS DA VARIABILIDADE HIDROCLIMÁTICA SOBRE O ESTADO TRÓFICO
EM UM RESERVATÓRIO DO SEMIÁRIDO**

Aprovado em: 18 de outubro de 2021.

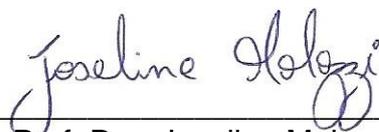
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. José Etham de Lucena Barbosa (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Vanessa Virginia Barbosa (Coorientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dra. Joseline Molozzi
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Patrícia Silva Cruz
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 MATERIAIS E MÉTODOS	7
2.1 Área de estudo.....	7
2.2 Variáveis abióticas e clorofila-a	8
2.3 Índice de Estado Trófico (IET).....	8
2.4 Análise Estatística.....	9
3 RESULTADOS.....	9
3.1 Precipitação e Volume	9
3.2 Variáveis Físicas e Químicas	10
3.3 Índice de Estado Trófico (IET).....	13
4 DISCUSSÃO.....	15
5 CONCLUSÃO	17
REFERÊNCIAS	17

EFEITOS DA VARIABILIDADE HIDROCLIMÁTICA SOBRE O ESTADO TRÓFICO EM UM RESERVATÓRIO DO SEMIÁRIDO

EFFECTS OF HYDROCLIMATE VARIABILITY ON THE TROPHIC STATE IN A SEMI-ARID RESERVOIR

Cláudio José Pereira da Silva¹

RESUMO

Eventos climatológicos como as altas taxas de evaporação, baixas precipitações pluviométricas e ocorrência esporádica de chuvas torrenciais são eventos que podem provocar mudanças em corpos hídricos de regiões semiáridas. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos das características hidroclimáticas sobre as mudanças no estado trófico (IET) do reservatório Epitácio Pessoa. Para tanto, assumimos como hipóteses: I) As altas precipitações pluviométricas elevam o índice de estado trófico do reservatório. II) A região lótica apresenta o maior valor de IET. As coletas das amostras foram realizadas entre os meses de junho (chuva) e novembro (seca) do ano de 2016, junho (chuva) e dezembro (seca) do ano de 2017, julho (chuva) e dezembro (seca) de 2018 e abril (chuva) e outubro (seca) de 2019, nas regiões lêntica, transição e lótica de um reservatório do semiárido. Foram realizadas análises de nutrientes fosfatados e nitrogenados, clorofila a e de variáveis físicas. A partir das variáveis estudadas foi possível mensurar o estado trófico do ambiente de estudo utilizando dois índices elaborados para ambientes tropicais e ambientes temperados. Como resultados, observamos que as altas precipitações pluviométricas interferem no índice de estado trófico entre os períodos corroborando com a nossa hipótese I. Quanto a nossa hipótese II, foi refutada uma vez que as regiões lêntica e lótica não apresentam diferenças quanto ao estado trófico, sendo essa diferença apresentada na região de transição que registrou as maiores médias do IET classificando o reservatório como hipereutrófico. O fósforo total e a clorofila-a foram as variáveis mais importantes para a determinação do índice de estado do trófico entre as regiões do reservatório, além de registrar variações nas suas médias tanto entre os períodos (seca e chuva) como nas regiões (lêntica, transição e lótica) do reservatório. Foi verificado também diferenças significativas entre os índices usados com um deles podendo subestimar o estado trófico. Estes resultados são relevantes para a ampliação do conhecimento da dinâmica de reservatórios destinados ao abastecimento humano e melhor gerenciamento dos seus recursos.

Palavras-chave: Precipitação. Eutrofização. Fósforo. Qualidade da água.

ABSTRACT

Climatological events such as high evaporation rates, low rainfall and sporadic occurrence of torrential rains are events that can cause changes in water bodies in semiarid regions. The aim was to assess the effects of the hydroclimatic characteristics on the changes in the trophic state index (IET) using the two index described in the literature. Therefore, we assume as hypotheses: I) As high rainfall levels increase the trophic state index of the reservoir. II) The lotic region has a higher IET value. The

¹ Graduando em Ciências Biológicas, klaudio.jps@gmail.com.

study was based on sampling between the months of June (rain) and November (dry) of the year of 2016, June (rain) and of December (dry) of the year of 2017, July (rain) and of December (dry) of 2018 and April (rain) and outubro (dry) of 2019, in the lentic, transition and lotic regions of a semi-arid reservoir. Was measured analysis of phosphate and nitrogen nutrients, chlorophyll a and physical variables. Was possible to measure the trophic state of the study environment using two index elaborated for tropical and temperate environments. As results, we observe that the high rainfall rates change directly or the trophic state index between the periods, corroborating with our hypothesis I. Regarding our hypothesis II, it was refuted because the lentic and lotic regions do not show differences in the trophic state, there are differences in the region of transition that registered higher average of IET classifying or reservation as hypereutrophic. Total phosphorus and chlorophyll-a foram are the most important for determining the trophic status index between the regions of the reservoir, there are variations in the average between the periods (dry and rain) and in the regions (lentic, transition e lotic) do reservoir. Significant differences between the index used have been verified, some of which may underestimate the trophic status. These results are relevant for the expansion of the dynamics of reservoirs destined to the human supply and the management of two of its resources.

Keywords: Precipitation. Eutrofication. Phosphorus. Quality of water.

1 INTRODUÇÃO

O Semiárido ao longo dos anos vem sofrendo com o déficit hídrico natural e isso se dá devido aos baixos índices pluviométricos, que são registrados para essa microrregião, resultando em secas severas e periódicas, que conseqüentemente, têm ocasionado perdas na quantidade e na qualidade da água dos reservatórios (HUANG et al., 2020).

Wiegand et al. (2020), afirma que a construção de reservatórios artificiais para represamento e uso de água doce é uma excelente alternativa para minimizar os problemas que são gerados devido à escassez de água. Desde a época do Brasil Império já havia a necessidade de se construir açudes no semiárido, pois esses ecossistemas seriam utilizados para abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação, piscicultura, geração de energia, controle de enchentes, atividades recreativas e pesca, além de proporcionar importante desenvolvimento socioeconômico (ESTEVES, 2011).

Altas taxas de evaporação, baixas precipitações pluviométricas com conseqüente redução de volume dos reservatórios e ocorrência esporádica de chuvas torrenciais concentradas em curto espaço de tempo, são eventos climatológicos importantes e característicos de regiões semiáridas que podem provocar mudanças em seus corpos hídricos (ABBASPOUR et al., 2012). Além disso, essas regiões podem apresentar um intenso uso do solo para o desenvolvimento de atividades como agricultura, pecuária e ocupação humana. Essas atividades podem expor os reservatórios a processos físicos, químicos e biológicos, mudar a dinâmica desses mananciais e provocar alterações na qualidade da água (NOBRE et al., 2020).

Nesse contexto, a entrada de nutrientes fosfatados e nitrogenados favorecem o processo de eutrofização (AZEVEDO et al., 2020), e altera a produtividade dos ambientes aquáticos (ESTEVES, 2011). Esse aumento de nutrientes é determinante para o crescimento algal e para as florações de cianobactérias, algas potencialmente tóxicas e responsáveis por causar vários prejuízos a biota aquática, como a

mortandade de espécies, odor e gosto desagradável da água, intoxicação por ingestão, reações alérgicas, problemas respiratórios e até mesmo a morte (AZEVEDO et al., 2020).

A eutrofização é um processo que acontece de modo natural nos mais variados ambientes límnicos, podendo ser acelerado com o aumento de diferentes fluxos de nutrientes oriundos das ações antrópicas como o lançamento de esgotos domésticos e industriais, provocando o desequilíbrio dos mananciais (ARAÚJO et al., 2013), bem como através de eventos climáticos, elevadas taxas de evaporação, escassez de chuvas ou ainda episódios de precipitação intensos (BRAGA et al., 2015).

Além dos fatores climáticos envolvidos no processo de eutrofização podemos citar os fatores hidrológicos que são intrínsecos dos próprios reservatórios. Reservatórios, que fazem parte de um sistema fluvial, podem apresentar na região lótica tendência para o aumento das concentrações de nutrientes trazidos pelo rio, (CHEN et al., 2012), além de maior ressuspensão do sedimento por serem regiões mais rasas com grande quantidade de matéria orgânica (SEITZ et al., 2020). Por outro lado, regiões lênticas do reservatório podem apresentar redução das concentrações de nutrientes, isso pode estar associado ao processo de sedimentação de material particulado e por serem regiões mais profundas, limitam a ciclagem interna dos nutrientes (JI et al., 2017). Vale citar ainda que o represamento de rios pode causar impactos negativos ao meio, além de provocar uma série de mudanças na própria estrutura e dinâmica biológica do rio (STEVOVE et al., 2018). Barragens de grande porte, por exemplo, possuem importante influência na alteração da qualidade da água dos rios por provocar perturbações que vão desde a retenção de diferentes nutrientes, até mudanças na temperatura da água (SANTOS et al., 2020). Diante do exposto, para uma avaliação precisa desses fenômenos, faz-se necessário o uso de mecanismos que possibilitem monitorar a qualidade da água desses sistemas aquáticos e possivelmente prever e prevenir danos à saúde das pessoas.

Para isso, o índice de estado trófico (IET) é uma ferramenta significativa no monitoramento da qualidade da água e na classificação do grau de nutrição de ambientes aquáticos. É uma ferramenta que poderá auxiliar gestores de recursos hídricos no monitoramento e na classificação do estado trófico desses ambientes (TORRES-FRANCO et al., 2019). Diversos índices são propostos para avaliação do estado trófico da água de reservatório, tais como o índice de Toledo et al. (1983), adaptado de Carlson (1977), amplamente consolidado e apontado em muitos estudos como o melhor índice (KLIPPEL et al., 2020). Porém este índice foi desenvolvido para ambientes tropicais tendo como variáveis analisadas, clorofila-a (CL a), fósforo total (PT), fósforo reativo solúvel (SRP) e transparência da água (DS).

Outro índice proposto foi desenvolvido por Cunha et al. (2013), adaptado do índice original de Carlson (1977) para ser usado em ambientes tropicais e considera apenas duas variáveis: a clorofila-a e o fósforo total. Esses índices possuem como vantagem avaliar vários parâmetros de um ambiente aquático simultaneamente, possibilitando o estudo de fenômenos complexos através de simples cálculos para uma leitura mais acessível que ajuda os pesquisadores a entender melhor a dinâmica dos reservatórios em relação ao grau de eutrofização (KLIPPEL et al., 2020).

Diante disso, buscamos verificar e acompanhar diferentes índices de estado trófico de um reservatório de abastecimento no semiárido em períodos de alta e baixa precipitação entre diferentes regiões dentro de reservatório. Para isso foram elaboradas as seguintes questões para serem estudadas: I) Períodos de baixas precipitações e altas precipitações (seca e chuva) interferem nos valores do IET? II) Há diferença no IET considerando diferentes regiões de um reservatório (lótico e

lêntico)? Para tanto, assumimos como hipóteses: I) As precipitações pluviométricas influenciam diretamente na classificação do índice de estado trófico do reservatório com maiores valores de estado trófico em períodos de alta precipitação. II) Há diferença no IET entre diferentes regiões de um reservatório, sendo a região lótica a que apresenta o maior valor de IET. O objetivo deste trabalho, portanto, foi avaliar os efeitos das características hidroclimáticas sobre as mudanças no estado trófico utilizando-se de dois índices descritos na literatura.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

As coletas das amostras foram realizadas no reservatório Epitácio Pessoa (07° 28' 4" e 07° 33' 32"S; 36° 8' 23" e 36° 16' 51" W), popularmente conhecido como "Açude de Boqueirão", localizado no município de mesmo nome: Boqueirão, no Cariri paraibano. Este está situado em plena região semiárida, na Bacia Hidrográfica do rio Paraíba e o segundo maior reservatório do estado da Paraíba, com capacidade máxima de 466.525.964 m³, área de 2.678 ha e altitude de 420 m.

O reservatório Epitácio Pessoa possui grande importância como local de abastecimento contemplando 18 cidades sendo Campina Grande a maior entre elas. Ele beneficia um total de mais de meio milhão de pessoas. Ao longo dos anos vem sofrendo com diversos eventos relacionados às ações humanas desenvolvidas na sua bacia de drenagem como: irrigação, pastagem, forragem animal e agricultura de subsistência.

Ainda caracterizando a área de estudo, vale destacar que o clima da região é característico do semiárido, com precipitações médias anuais abaixo dos 800 mm (WIEGAND et al., 2020). As maiores precipitações, geralmente, são registradas nos meses de fevereiro a maio. Ressalta-se que entre os anos de 2012 a 2017 houve baixas precipitações com médias inferiores a 60 mm caracterizando um longo período de seca (Dados - AESA).

Contextualmente, é imperioso citar que em 13 de abril de 2017 houve a introdução das águas do Rio São Francisco. Esse teve o seu curso desviado para abastecer reservatórios de regiões semiáridas do Nordeste no período de maior escassez hídrica evitando que tais reservatórios entrassem em colapso (PIRES, 2019). O estudo foi realizado nos meses de junho (chuva) e novembro (seca) do ano de 2016, junho (chuva) e dezembro (seca) do ano de 2017, julho (chuva) e dezembro (seca) de 2018 e abril (chuva) e outubro (seca) de 2019, nas regiões lêntica, transição e lótica do reservatório. As precipitações e os volumes desses meses de estudo estão na tabela a seguir.

Tabela 1- Precipitação e volume do reservatório de Epitácio Pessoa.

Reservatório	Ano	Mês	Precipitação (mm)	Volume (%)
Epitácio Pessoa	2016	Junho	26.9	8.64
		Novembro	0	5.39
	2017	Junho	24.7	6.84
		Dezembro	1.9	9.66
	2018	Julho	6.8	31,6
		Dezembro	5.1	22.4
	2019	Abril	45.3	23.02
		Outubro	0.3	18.18

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

2.2 Variáveis abióticas e clorofila-a

Para as análises de fósforo total (PT $\mu\text{g/L}^{-1}$), fósforo reativo solúvel (SRP $\mu\text{g/L}^{-1}$), nitrato (N-NO₃ $\mu\text{g/L}^{-1}$) e amônia (N-NH₄ $\mu\text{g/L}^{-1}$) as amostras foram coletadas na superfície da coluna d'água em garrafas plásticas com capacidade para (1L) e mantidas em gelo até o laboratório. As amostras foram filtradas em filtros de fibra de vidro GF/C para a determinação das concentrações de clorofila-a (CL a $\mu\text{g/L}^{-1}$) e o filtrado foi utilizado para determinação dos nutrientes dissolvidos (fósforo reativo solúvel ($\mu\text{g/L}^{-1}$), nitrato ($\mu\text{g/L}^{-1}$) e amônia ($\mu\text{g/L}^{-1}$)). As análises foram realizadas de acordo com as metodologias padronizadas e descritas em "Standard Methods of the Examination of Water and Waste Water" (APHA, 2015). Para a extração da concentração de clorofila-a ($\mu\text{g L}^{-1}$) se utilizou a técnica de extração com etanol a 96% (JESPERSEN; CHRISTOFFERSEN., 1987). As variáveis físicas como turbidez (NTU), oxigênio dissolvido (OD mg/L^{-1}), condutividade elétrica (mS/cm), potencial hidrogeniônico (pH), sólidos dissolvidos totais (TDS mg/L^{-1}) e temperatura (°C) também foram aferidas, com o auxílio de uma sonda multiparamétrica (modelo HORIBA, U-50). Para a medida de transparência da água foi utilizado o disco de Secchi (DS).

2.3 Índice de Estado Trófico (IET)

A avaliação do estado trófico do reservatório Epitácio Pessoa foi baseada nos valores dos Índices de Estado Trófico de Carlson (1977) amplamente utilizados para ambientes temperados modificado e proposto por Toledo Junior et al. (1983), para ambientes tropicais (Tabela 1).

Tabela 2 – (IET) de Carlson (1977) modificado por Toledo Jr et al. (1983).

ESTADO TRÓFICO	IET
Oligotrófico	< 44
Mesotrófico	44 < IET < 54
Eutrófico	≥ 54

Fonte: Adaptado de Toledo (1983).

Equações determinadas para o modelo:

$$IET (S) = 10 \times \left\{ 6 - \left[0,64 + \left(\frac{\ln S}{\ln 2} \right) \right] \right\} \quad (1)$$

$$IET (P) = 10 \times \left[6 - \frac{\ln \left(\frac{80,32}{P} \right)}{\ln 2} \right] \quad (2)$$

$$IET (SRP) = 10 \times \left[6 - \frac{\ln \left(\frac{21,67}{SRP} \right)}{\ln 2} \right] \quad (3)$$

$$IET (Cl) = 10 \times \left[6 - 2,04 - \left(\frac{0,695 \times \ln Cl}{\ln 2} \right) \right] \quad (4)$$

$$\text{Equação Final: } IET = \frac{IET (S) + 2 [IET (P) + IET (SRP) + IET (Cl)]}{7} \quad (5)$$

Onde: **S** = transparência do Disco de Secchi (metro); **SRP** = concentração de fósforo

reativo solúvel na água ($\mu\text{g/L}^{-1}$); **P** = concentração de fósforo total na água ($\mu\text{g/L}^{-1}$) e **Cl** = concentração de clorofila-a na água ($\mu\text{g/L}^{-1}$); **ln** = logaritmo natural.

Ainda para avaliação da evolução do grau de eutrofização do reservatório, utilizou-se o IET de Carlson (1977) modificado por Cunha et al. (2013).

Tabela 3 – (IET) de Carlson (1977) modificado por Cunha et al. (2013).

ESTADO TRÓFICO	IET
Ultraoligotrófico	$IET \leq 51.1$
Oligotrófico	$51.2 < IET < 53.1$
Mesotrófico	$53.2 < IET \leq 55.7$
Eutrófico	$55.8 < IET \leq 58.1$
Supereutrófico	$58.2 \leq IET \leq 59$
Hipereutrófico	$IET \geq 59.1$

Fonte: Adaptado de Cunha (2013).

Equações 6, 7 e 8 para o cálculo de IET propostas por Cunha et al. (2013).

$$IET (\text{fósforo total}) = 10 \times \left\{ 6 - \left[1,77 - 0,42 \times \left(\frac{\ln \text{fósforo total}}{\ln 2} \right) \right] \right\} \quad (6)$$

$$IET (\text{clorofila}) = 10 \times \left\{ 6 - \left[0,92 - 0,34 \times \left(\frac{\ln \text{clorofila}}{\ln 2} \right) \right] \right\} \quad (7)$$

$$IET (\text{transparência}) = \left[\frac{IET (\text{fósforo total}) + IET (\text{clorofila})}{2} \right] \quad (8)$$

2.4 Análise Estatística

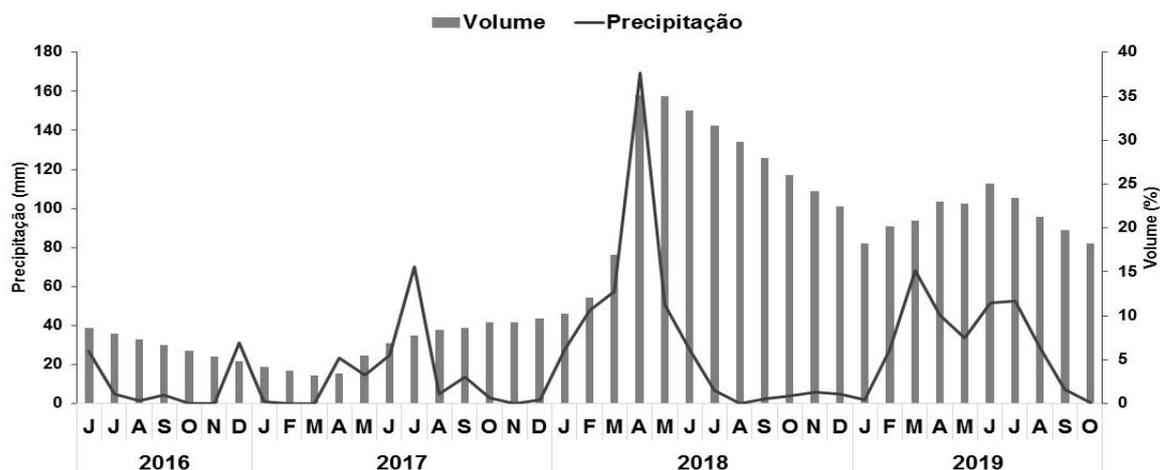
Para verificar as diferenças significativas no IET, nas concentrações de nutrientes e clorofila-a entre as regiões lêntica, transição e lótica bem como nos períodos de seca e chuva foi realizada análise de variância de dois fatores (ANOVA two Way), seguidos do teste *post hoc* de Tukey. A Análise de Componentes Principais (PCA) para as variáveis estudadas no período de seca e chuva foi realizado com o software R. As análises estatísticas foram realizadas no software R, versão 3.0.1 (R Development Core Team, 2013), considerando nível de significância < 0.05 .

3 RESULTADOS

3.1 Precipitação e Volume

O reservatório Epitácio pessoa (Boqueirão), apresentou temperaturas variando de 25 e 26 °C durante o período amostral. Durante os meses de janeiro de 2016 a março de 2017, foram registradas médias pluviométricas abaixo de 60 mm, no mês de abril de 2018, houve aumento da precipitação com registro de médias de até 170 mm (Figura 1). Os baixos índices pluviométricos contribuíram para a diminuição do volume hídrico do manancial chegando a 3% de sua capacidade em março de 2017.

Figura 1 – Volume e precipitação do reservatório Epitácio Pessoa durante o período de estudo.

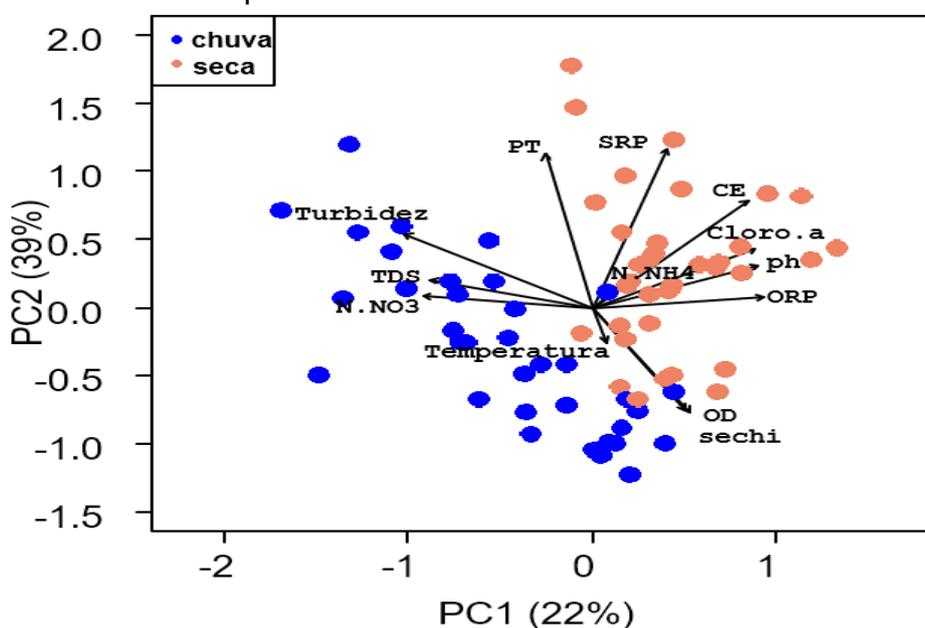


Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

3.2 Variáveis Físicas e Químicas

A partir da análise de componentes principais - PCA (Figura 2), foi observado uma clara segregação das variáveis ambientais em relação aos períodos de baixa e alta precipitação. O eixo 1 explicou 22% da variância total dos dados e o eixo 2 explicou 39%. As variáveis temperatura ($^{\circ}\text{C}$), sólidos dissolvidos totais (TDS), turbidez (NTU) e nitrato (N-NO_3) estiveram relacionadas ao período de chuva. Para o período de seca, as variáveis mais relacionadas foram o fósforo total (PT), fósforo reativo solúvel (SRP), condutividade elétrica (CE), clorofila-a (CL-a), amônia (N-NH_4), potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD) e transparência da água (Secchi).

Figura 2 - Análise de Componentes Principais das variáveis estudadas entre os períodos do reservatório Epitácio Pessoa.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

Foram observadas diferenças significativas das variáveis ambientais entre os períodos (seca e chuva) e também entre as regiões (lêntica, transição e lótica) do reservatório ($p < 0,05$). A turbidez apresentou valores elevados no período de chuva, com médias variando de 80.7 a 196.2 NTU, enquanto que no período de seca apresentou variação de 32.6 a 43.3 NTU ($F = 15.928$; $p < 0,05$). O pH também registrou diferença entre os períodos ($F = 34.213$; $p < 0,05$), com médias variando de 7.3 a 8.5, sendo os valores mais baixos registrados no período de chuva. Para a variável sólidos dissolvidos totais (TDS), houve diferença entre períodos e entre regiões ($F_{\text{período}} = 13.914$; $p < 0.05$; $F_{\text{região}} = 6.026$; $p < 0.05$). A região lótica apresentou a maior média de TDS (0.5 mg/L^{-1}) no período de chuva. Para variável amônia (N-NH_4), o período de seca apresentou as maiores médias, com destaque para a região lêntica que registrou média de $89.5 \text{ } (\mu\text{g/L}^{-1})$ (Tabela 3).

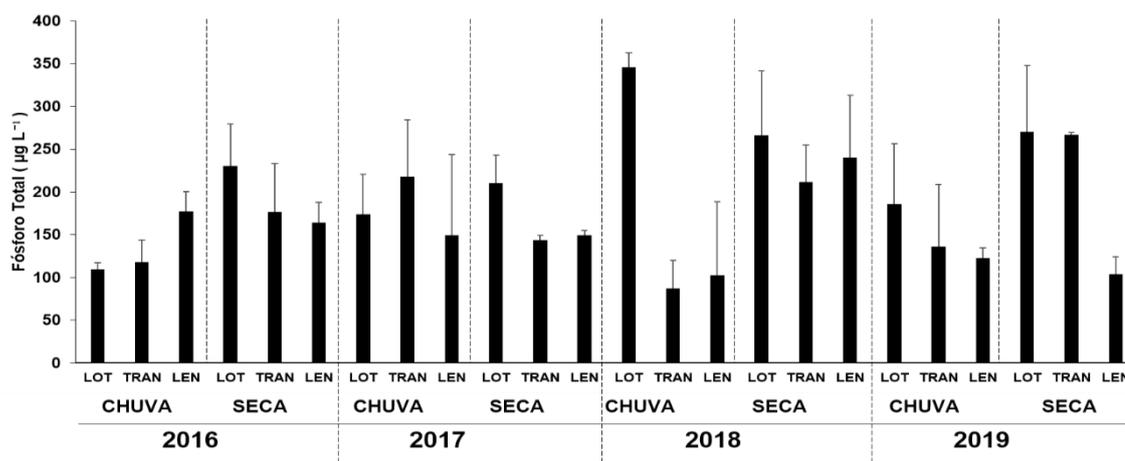
Tabela 1 – Valores (média e desvio) das variáveis ambientais durante o período de estudo considerando o período de seca e de chuva. DS = Disco de Secchi; T = temperatura; pH = potencial hidrogeniônico; ORP = potencial de oxirredução; CE = condutividade elétrica; NTU = turbidez; OD = oxigênio dissolvido; TDS = sólidos totais dissolvidos; N-NH_4 = amônia; N-NO_3 = nitrato; SRP = fósforo reativo solúvel; PT = fósforo total; CL = clorofila a.

	Seca			Chuva		
	Lêntico	Transição	Lótico	Lêntico	Transição	Lótico
DS (m)	1.4 ± 0.3	0.9 ± 0.0	0.8 ± 0.0	1.1 ± 0.1	0.9 ± 0.4	0.7 ± 0.2
T (°C)	25.1 ± 0.8	25.4 ± 0.6	25.3 ± 1.0	25.9 ± 1.6	26.1 ± 1.8	26.5 ± 1.9
pH	8.1 ± 0.5	8.5 ± 0.2	8.3 ± 0.5	7.3 ± 1.1	7.5 ± 0.4	7.5 ± 0.3
ORP	199.2 ± 60.2	177.6 ± 61.7	173.5 ± 47.3	145.5 ± 35.3	145.9 ± 42.2	124.4 ± 41.0
CE ($\mu\text{S/cm}$)	0.3 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.3 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.3 ± 0.0
NTU	32.6 ± 52.9	55.5 ± 87.8	43.3 ± 57.3	80.7 ± 93.7	86.2 ± 54.4	196.2 ± 112.7
OD (mg/L^{-1})	5.6 ± 3.1	6.1 ± 2.7	6.1 ± 3.3	6.9 ± 3,2	6.2 ± 3,1	5.4 ± 2.6
TDS (mg/L^{-1})	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.4 ± 0.2	0.5 ± 0.2
N-NH_4 ($\mu\text{g/L}^{-1}$)	89.5 ± 81.0	63.8 ± 33.0	80.4 ± 82.7	41.1 ± 23.6	49.2 ± 35.6	54.2 ± 31.9
N-NO_3 ($\mu\text{g/L}^{-1}$)	30.9 ± 13.6	25.8 ± 9.3	45.9 ± 39.0	45.1 ± 21.6	63.4 ± 30.3	70.6 ± 49.1
SRP ($\mu\text{g L}^{-1}$)	108.3 ± 48.0	133.8 ± 57.3	157.1 ± 50.8	70.4 ± 45.4	65.8 ± 27.8	75.4 ± 31.5
PT ($\mu\text{g L}^{-1}$)	164.3 ± 61.4	199.6 ± 90.2	244.2 ± 62.0	137.8 ± 86.1	139.6 ± 68.2	206.3 ± 185.2
Cl ($\mu\text{g L}^{-1}$)	10.7 ± 6.8	36.3 ± 14.6	16.3 ± 9.7	5.8 ± 2.7	16.7 ± 9.9	6.7 ± 3.1

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

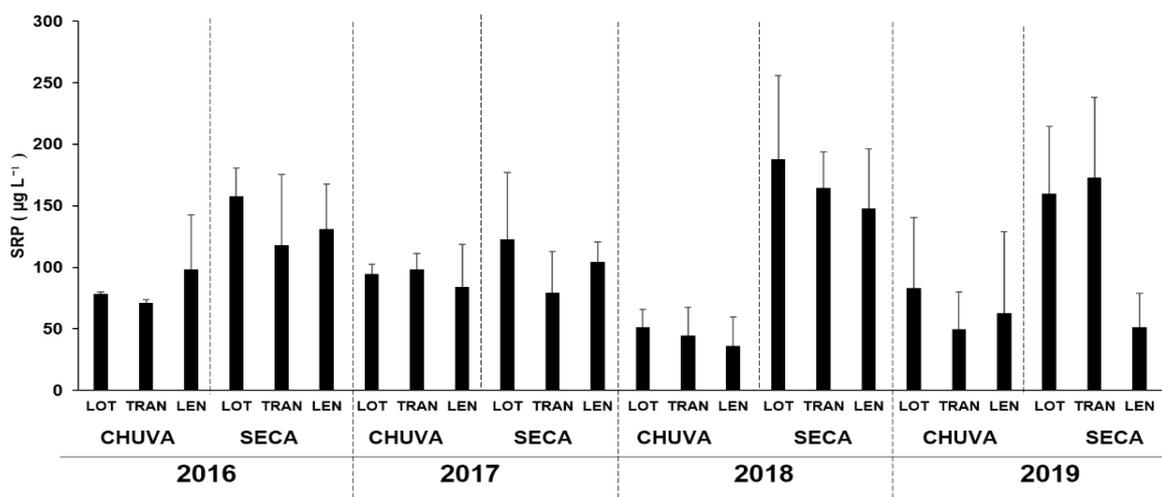
Com relação ao fósforo total (PT), a maior concentração foi registrada na região lótica, no período de chuva do ano de 2018 ($345.8 \text{ } \mu\text{g/L}^{-1}$). A região lótica apresenta os maiores valores médios tanto para o período de seca ($244.2 \pm 62.0 \text{ } \mu\text{g/L}^{-1}$) quanto para o período de chuva ($206.3 \pm 185.2 \text{ } \mu\text{g/L}^{-1}$) (Figura 3). O fósforo reativo solúvel (SRP) apresentou diferença significativa entre os períodos de seca e de chuva ($F = 134.742$; $p < 0.05$) e as maiores concentrações dessa variável foram registradas no período de seca principalmente na região lótica, com exceção do ano de 2019 que mostra a região de transição com valor mais alto para essa variável ($173 \text{ } \mu\text{g/L}^{-1}$). O período de chuva apresentou as menores concentrações de SRP entre as regiões (65.8 a $75.4 \text{ } \mu\text{g/L}^{-1}$) (Figura 4).

Figura 3 – Variação da concentração de PT ($\mu\text{g/L}^{-1}$) para os períodos hidrológicos e regiões de coleta do reservatório Epitácio Pessoa (Boqueirão), entre os meses de março de 2016 e outubro de 2019.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

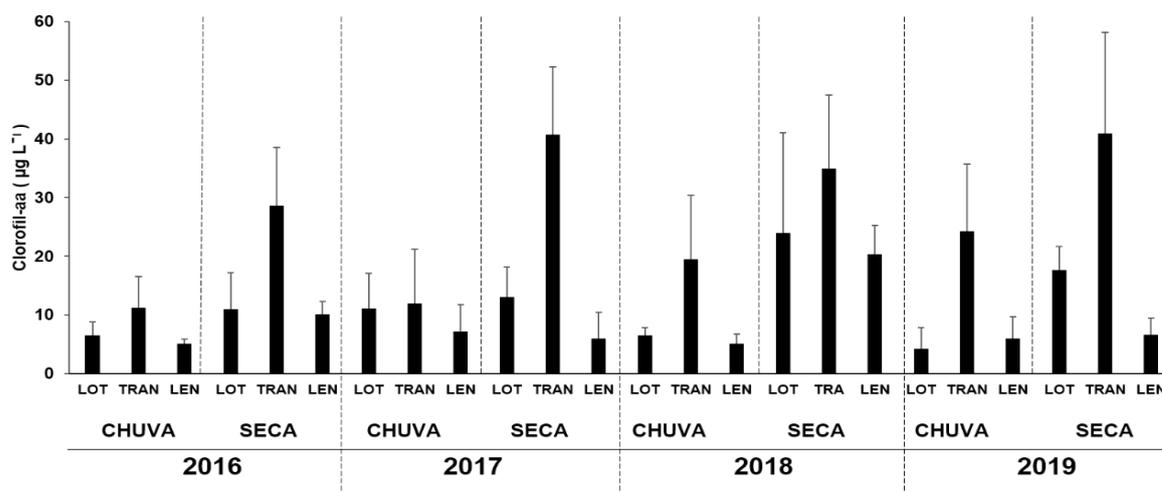
Figura 4 – Variação da concentração do SRP ($\mu\text{g/L}^{-1}$) para os períodos hidrológicos e regiões de coleta do reservatório Epitácio Pessoa (Boqueirão), entre os meses de março de 2016 e outubro de 2019.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

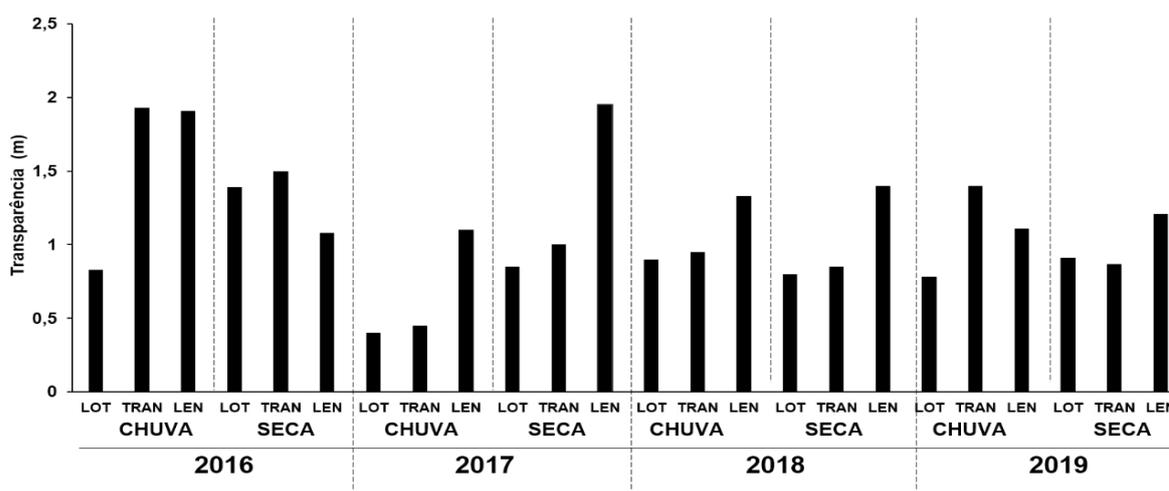
Em relação a clorofila-a, foi observado diferenças significativas entre os períodos e regiões ($F_{\text{Período}} = 28.416$; $p < 0.05$; $F_{\text{Região}} = 28.312$; $p < 0.05$). Verificou-se também que a maior concentração foi registrada na região de transição do período seco no ano de 2017 ($40.67 \mu\text{g/L}^{-1}$). Esse comportamento se manteve e a região de transição registrou médias de 36.3 e $16.7 (\mu\text{g/L}^{-1})$, nos períodos de seca e chuva respectivamente, (Figura 5). A transparência da água variou entre $0,5$ m e 2.0 m com diferenças significativas entre as regiões ($F = 12.354$; $p < 0.05$). As regiões de transição e lântica apresentaram valores próximos a 2.0 m para esse parâmetro nos anos de 2016 e 2017, respectivamente (Figura 6).

Figura 5 – Variação da concentração de clorofila-a ($\mu\text{g/L}^{-1}$) para os períodos hidrológicos e regiões de coleta do reservatório Epitácio Pessoa (Boqueirão), entre os meses de março de 2016 e outubro de 2019.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

Figura 6 – Variação da Transparência da água aferida pelo Disco de Secchi (m) para os períodos hidrológicos e regiões de coleta do reservatório Epitácio Pessoa (Boqueirão), entre os meses de março de 2016 e outubro de 2019.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

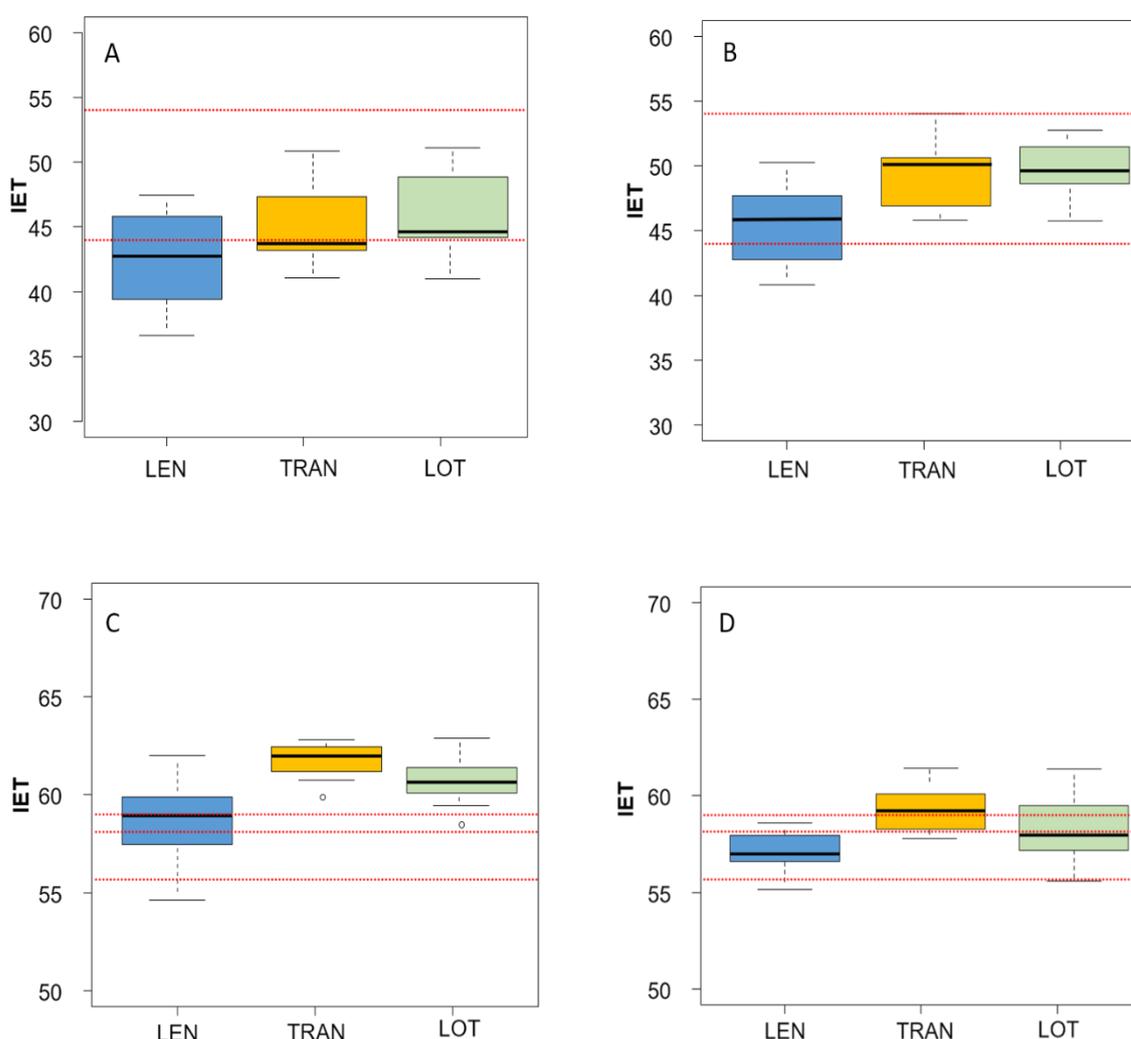
3.3 Índice de Estado Trófico (IET)

O IET_{Cunha} apresentou diferenças significativas entre os períodos ($F = 27.48$; $p < 0,001$) sendo os maiores valores registrados na seca e encontramos diferenças entre as regiões ($F = 9.91$; $p < 0,001$). Em ambos os períodos estudados não verificamos diferenças significativas nos valores de IET_{cunha} entre a região lântica e lótica, no entanto verificamos diferenças significativas dos valores em relação a região de transição que mostrou valores superiores ($IET_{\text{cunha}} \text{ SECA} = 61,65$ e $IET_{\text{cunha}} \text{ CHUVA} = 59,15$ ambos classificados como hipereutróficos) em relação a região lântica ($IET_{\text{cunha}} \text{ SECA} = 58,65$ - supereutrófico e $IET_{\text{cunha}} \text{ CHUVA} = 57,05$ - eutrófico).

Assim como o IET_{Cunha} , no IET_{Toledo} também foi observado diferenças significativas para os períodos ($F = 27.87$; $p = <0,001$) sendo os maiores valores de IET registrados no período de seca e também foi visto diferenças no IET entre as regiões ($F = 19.09$; $p = <0,001$), maiores valores de IET foram registrados na região de transição. A região lântica foi classificado como mesotrófico ($IET_{toledo\ SECA} = 45,64$) e a região lótica foi classificado como eutrófica ($IET_{cunha\ SECA} = 58,65$). A região de transição também apresentou valores significativamente diferentes da região lântica, no entanto ambas as regiões foram classificadas como mesotrófico.

A ANOVA mostrou que há diferenças significativas entre os dois índices estudados, tanto considerando os períodos ($F_{Período} = 65.302$; $p < 0.05$) quanto considerando as regiões estudadas ($F_{Região} = 23.586$; $p < 0.05$). Entre os dois índices o que apresentou as maiores médias foi o IET_{Cunha} (média geral = 59.2).

Figura 7 – Variação do $IET_{Cunha(2013)}$ e $IET_{Toledo(1983)}$ entre regiões e períodos durante o estudo. Bandas dentro dos boxplots representam suas médias e as linhas horizontais delimita o estado trófico. (A) IET_{Toledo} chuva, (B) IET_{Toledo} seca, (C) IET_{Cunha} seca, (D) IET_{Cunha} chuva.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

4 DISCUSSÃO

A partir da análise da PCA, observamos que os períodos de seca e chuva apresentam cenários claramente distintos em relação às variáveis ambientais. Variáveis como sólidos dissolvidos totais, turbidez e nitrato estiveram mais relacionadas ao período de chuva, apresentando valores mais altos. Esse fato pode ser explicado, porque geralmente, maiores precipitações respondem pelo efeito diluidor dos sólidos dissolvidos totais, aumento da ressuspensão do material particulado que favorece a turbidez e aumento do fluxo de nutrientes como por exemplo, o nitrato devido à elevação do escoamento superficial (BASSO et al., 2011; NOBRE et al., 2020). O aumento da turbidez e sólidos dissolvidos totais no período de chuva na região lótica é devido possivelmente ao aumento e diluição de partículas trazidas pelo rio nessa região, podendo ser algumas vezes maior no período de chuva do que no período de seca como foi observado em estudos de Paula Filho et al. (2020).

Para o período de seca, as variáveis que estiveram mais associadas foram o fósforo total, fósforo reativo solúvel, condutividade elétrica, clorofila-a e amônia apresentando valores mais altos nesse período. Uma explicação possível para as variáveis relacionadas ao período de seca, é que neste, temos a redução no nível da água e aumento no seu tempo de residência, fatores que podem ocasionar um aumento das concentrações dos principais nutrientes a exemplo do fósforo e do nitrogênio, e devido a uma maior exposição da água com o sedimento composto por altas concentrações desses íons (BEZERRA et al., 2014). Os altos valores de amônia, observados durante o período de seca, podem estar relacionados a redução dos níveis de água do reservatório durante o período, podendo também, ocasionar condições de anóxia e o conseqüente aumento desse composto nitrogenado reduzindo a qualidade da água (PADEDDA et al., 2017).

O fósforo total apresentou variações entre os períodos e entre as regiões sobretudo na região lótica do reservatório, que pode estar relacionado a grande quantidade de material transportado principalmente no período de chuva (CAVALCANTE et al., 2018). Outros fatores como a erosão do solo provocada pela falta de cobertura vegetal comum para região semiárida e a entrada de efluentes somados as atividades antrópicas, pode explicar o aumento do fósforo total na região lótica do reservatório (BARBOSA et al., 2012; PADEDDA et al., 2017). Em se tratando do reservatório Epitácio Pessoa, as concentrações de fósforo podem aumentar ainda devido a presença de macrófitas. Esses vegetais possuem a capacidade de absorver e estocar o fósforo através das folhas e raízes liberando posteriormente com a sua decomposição (BARBOSA et al., 2017). Além disso, durante o período de estudo houve a introdução das águas do rio São Francisco e seus afluentes, esse fato pode explicar o aumento dos valores de fósforo total registrados para a região lótica no período de seca, já que o manancial permaneceu recebendo carga d'água mesmo em um período caracterizado por registrar baixíssimos índices pluviométricos. Sendo assim, o reservatório Epitácio Pessoa manteve seu aporte médio de fósforo total próximo ao do período de chuva. Barbosa et al. (2019) estudando a influência das macrófitas submersas sobre o fósforo no reservatório Epitácio Pessoa, relata que a região lótica foi uma das mais afetadas com a transposição principalmente nas primeiras semanas da introdução das águas do Rio São Francisco.

Altas concentrações de fósforo reativo solúvel foram observadas durante o estudo, esse aumento pode estar associado a baixa assimilação do fitoplâncton, levando em consideração que as maiores concentrações desse nutriente ocorreram

na região lótica, onde acontece a maior ressuspensão do sedimento e consequentemente o aumento da turbidez que é um dos parâmetros responsável pela baixa produtividade das algas (PAULA FILHO et al., 2020). A alta transparência da água na região lântica do reservatório, pode estar relacionada a um maior aumento da diluição e sedimentação de partículas suspensas (BARBOSA et al., 2017).

Na região transição do reservatório houve um aumento da concentração de clorofila-a, esse fato pode ter relação com o aumento da disponibilidade do fósforo, além de outros fatores como a disponibilidade de luz e presença de águas calmas comumente registrado nessa região (OLIVEIRA et al., 2019; CHAVES, 2013). Águas de região de rio apresentam concentrações mais baixas de clorofila-a pois apesar de apresentar alta disponibilidade de nutrientes o aumento fluxo da água torna difícil o estabelecimento do fitoplâncton (JIANG et al., 2010). Assim como em um estudo desenvolvido por Braga et al. (2015), foi verificado nos nossos resultados um aumento das concentrações de clorofila-a no período de seca provavelmente como resultado do aumento da transparência da água motivada pela baixa precipitação que favoreceu o desenvolvimento de organismos fitoplanctônicos. Estudos de Huang et al. (2020), mostraram que há uma relação inversamente proporcional quando se trata do aumento da precipitação e concentração de clorofila-a.

A nossa hipótese I foi corroborada uma vez que foi observado que o valor do IET aumentou em decorrência das altas precipitações pluviométricas influenciando diretamente na classificação do índice de estado trófico do reservatório. A hipótese II foi refutada pois as regiões lântica e lótica não apresentam diferenças quanto ao estado trófico. A única exceção foi a análise pelo IET_{toledo} no período de seca.

Surpreendentemente verificamos que a região de transição apresentou diferenças do estado trófico em relação às outras regiões com as maiores médias do IET classificando o reservatório como hipereutrófico. A variável clorofila pode ter apresentado um peso maior no índice para explicar esse fato. Além da disponibilidade de recurso como o fósforo nessa região, é comum que a região de transição apresente menores perturbações provocada pela turbidez abiogênica, podendo se tornar um local ideal para o desenvolvimento de algas que podem promover o aumento do estado trófico dessa região do reservatório (ARAÚJO et al., 2013; LIMA et al., 2015). Variáveis como a clorofila-a e o fósforo total possui uma estreita relação com a produtividade de ambientes aquáticos (SANTOS et al., 2016). O método de IET_{Toledo} classificou as regiões em oligotróficas e mesotróficas.

De acordo com os nossos estudos, esse método não representa a realidade que mostramos através dos dados para as regiões do reservatório, principalmente quando se trata de variáveis como o fósforo total e a clorofila-a o que pode levar a subestimação dos dados e classificação equivocada quanto a este parâmetro. Essas variáveis apresentaram valores que são característicos de ambientes eutróficos contrariando esse método de classificação do IET. Ressaltamos a importância de uma adequada classificação de estado trófico que represente a realidade uma vez que algas potencialmente tóxicas, medidas através da clorofila-a, podem representar riscos à saúde de animais e pessoas (ANTONIOU et al. 2005). Poucos são os estudos que tratam do IET em regiões distintas dos reservatórios, nesse sentido, é preciso que novos estudos sejam conduzidos para se ter uma análise mais apurada desses dados, cuja finalidade seja encontrar resultados mais robustos e precisos que possam contribuir para o desenvolvimento dessa linha de pesquisa.

Em relação ao período estudado e os resultados do IET, no período de seca, a estiagem prolongada reduz o nível do reservatório aumentando a concentração de nutrientes como a clorofila-a e o fósforo total (BRAGA et al., 2015) o que pode elevar

o estado trófico do ambiente, no período de chuva, com o aumento da precipitação, ocorre o a diluição desses nutrientes com consequente diminuição do estado trófico.

Considerando que o IET modificado por Cunha (2013), apresentou valores do IET superiores, no momento poderá ser um bom modelo para ser utilizado em análises do estado trófico de reservatórios localizados nas regiões semiáridas, uma vez que são ambientes ricos em nutrientes e clorofila a, sendo necessário, no entanto o desenvolvimento de novos estudos que abordem essa temática.

5 CONCLUSÃO

Nossos resultados comprovaram que as baixas precipitações pluviométricas (período de seca) influenciam diretamente no estado trófico do reservatório. Verificamos que fatores hidrológicos como diferentes regiões de um manancial podem apresentar diferenças e semelhanças nos valores de estado trófico, sendo observado valores mais altos de trofia na região de transição devido aos valores encontrados para a clorofila-a. A variação das concentrações do fósforo total e da clorofila-a entre as regiões do reservatório foram determinantes na classificação do IET. Nossos estudos revelam importantes observações a serem considerados em planos de monitoramento de corpos hídricos, principalmente aqueles destinados ao abastecimento humano. Em tempos de seca ou seca prolongada há grande demanda por recurso hídrico que pode encontrar-se eutrofizado e com potencial perigo à saúde, haja vista a proliferação de algas tais como cianobactérias que são produtoras de toxinas prejudiciais à saúde. Além disso, a região de transição parece ser um ótimo habitat para a proliferação dessas algas, por isso o alerta para esta região deve ser observado.

REFERÊNCIAS

AESA. Agência Executiva de gestão das águas do Estado da Paraíba. Paraíba, PB. 2017. Available at: <http://www.aesa.pb.gov.br/>

ABBASPOUR, M.; JAVID, A.H.; MIRBAGHERI, S.A.; AHMADI GIVI, F.; MOGHIM, P. Investigation of lake drying attributed to climate change. **Int. J. Environ. Sci. Technol**, v. 9, p. 257-266, jan. 2012.

ANTONIOU, M.G.; DE LA CRUZ, A.A.; DIONYSIOU, D.D. Cyanotoxins: New Generation of Water Contaminants. **J Environ Eng**, v. 131, n. 9, 1239-1243, set. 2005.

AFHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 22. 2012.

ARAÚJO, J.A.F.; SALES, R.J.M.; SOUZA, R.O. Risco de eutrofização em reservatórios de regiões semiáridas. **Rega**, v. 10, n. 1, p. 29-39, jan./jun. 2013.

AZEVÊDO, E. L.; MEDEIROS, C. R.; GOMES, W. I. A.; AZEVÊDO, D. J. S.; ALVES, R. R. N.; DIAS, T. L. P.; MOLOZZI, J. The use of Risk Incidence and Diversity

Indices to evaluate water quality of semi-arid reservoirs. **Ecological Indicators**, v. 90, p. 90-100, fev. 2018.

BARBOSA, J.E.L.; MEDEIROS, E.S.F.M.; BRASIL, J.; CORDEIRO, R.S.; CRISPIM, M.C.B.; SILVA, G.H.G. Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 24. n. 1, p. 103-118, 2012.

BARBOSA, V. V.; BARBOSA, J.E.L.; HEPP, L. U.; SANTINO, M. B. C.; NERY J. F. Anaerobic decomposition of submerged macrophytes in semiarid aquatic systems under different trophic states, Paraíba states, Brazil. **Afr.J. Biotechnol**, v. 16, n. 49, p. 2258-2266, dez. 2017.

BARBOSA, Vanessa Virgínia. **Egeria densa em reservatório do semiárido e relação com cianobactéria tóxica**. 2019. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental - PPGCTA) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2019.

BASSO, L.A.; MOREIRA, L.G.R.; PIZZATO, F. A influência da precipitação na concentração e carga de sólidos em cursos d'água urbanos: o caso do arroio Dilúvio. **Porto Alegre-Geosul**, Florianópolis, v. 26, n. 52, p. 145-163, jul./dez. 2011.

BEZERRA, A.F.M.; BECKER, V.; MATTOS, A. Balanço de massa de fósforo total e o estado trófico em reservatório do semiárido. **Revista brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 2, p. 67-76, abr./jun. 2014.

BRAGA, G.G.; BECKER, V.; OLIVEIRA, J.N.P.; MENDONÇA JUNIOR, J.R.; BEZERRA, A.F.M.; TORRES, L.M.; MATTOS, A. Influência da seca prolongada na qualidade da água em reservatórios tropicais de uma região semiárida. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 27, n. 1, p. 15-23, ago. 2015.

CARLSON, R. (1977). A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, v. 22, n. 2, p. 361–369, mar. 1977.

CAVALCANTE, H.; ARAÚJO, F.; NOYMA, N.P.; BECKER, V. Fracionamento de fósforo em sedimentos de reservatórios do semiárido tropical. **Science of The Total Environment**, p. 619-620, p. 1022-1029, 2018.

CHAVES, F.I.B.; LIMA, P.D.F.; LEITÃO, R.C.; PAULINO, W.D.; SANTAELLA, S.T. Influence of rainfall on the trophic status of a brazilian semiarid reservoir. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, Maringá, v. 35, n. 4, p. 505-511, out./dez. 2013.

CHEN, Y. Y.; ZHANG, C.; GAO, X. P.; & WANG, L. Y. Long-term variations of water quality in a reservoir in China. **Water Science and Technology**, v. 65, n. 8, p. 1454-1460, 2012.

CUNHA, D.G.F.; CALIJURI, M.C.; LAMPARELLI, M.C. Um índice de estado trófico para reservatórios tropicais / subtropicais (TSItsr). **Ecological Engineering**, v. 60, p. 126-134, jul./ago. 2013.

ESTEVEES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

HUANG, J.; XU, Q.; WANG, X.; JI, H.; QUIGLEY, E.J.; SHARBATMALEKI, M.; LI, S.; XI, B.; SUN, B.; LI, C. Effects of hydrological and climatic variables on cyanobacterial blooms in four large shallow lakes fed by the Yangtze River. **Ciência Ambiental e Ecotecnologia**, v. 5, p. 100069, nov. 2020.

JESPERSEN, A.M.; CHRISTOFFERSEN, K. Measurements of Chlorophyll-a from phytoplankton using ethanol as extraction solvent. **Arch. Hydrobiol**, v. 109, p. 445-454, 1987.

JI, D.; WELLS, S.A.; YANG, Z.; LIU, D.; HUANG, Y.; MA, J.; BERGER, C.J. Impacts of water level rise on algal bloom prevention in the tributary of Three Gorges Reservoir, China. **Ecological Engineering**, v. 98, p. 70-81, 2017.

JIANG, C.; ZHU, L.; HU, X.; CHENG, J.; XIE, M. Reasons and Control of Eutrophication in New Reservoirs. In: Ansari, A.; Singh, S.; Lanza, G.; Rast, W. Eutrophication: Causes, Consequences and Control. **New York: Springer**, p. 325 – 340, 2010.

KLIPPEL, G.; MACÊDO, R.L.; BRANCO, C.W.C. Comparação de diferentes índices de estado trófico aplicados a reservatórios tropicais. **Lakes & Reservoirs: Research & Management**, v. 25, n. 2, p. 214-229, abr. 2020.

LIMA, P.D.F.; SOUSA, M.S.R.; PORFÍRIO, A.F.; ALMEIDA, B.S.; FREIRE, R.H.F.; SANTAELLA. Análise preliminar do uso de índices de estado trófico em um reservatório semiárido brasileiro. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 37 n. 3, p. 309-318, jul./set. 2015.

NOBRE, R.L.G.; CALIMAN, A.; CABRAL, C.R.; DE CARVALHO ARAÚJO, F.; GUÉRIN, J.; DA COSTA CATOMBÉ DANTAS, F.; CARNEIRO, L.S. Precipitation, landscape properties and land use interactively affect water quality of tropical freshwaters. **Science of The Total Environment**, v. 716, p. 137044, jan. 2020.

PADEDDA, B.M.; SECHI, N.; LAI, G.G.; MARIANI, M.A.; PULINA, S.; SARRIA, M.; SATTI, C.T.; VIRDIS, T.; BUSCARINU, P.; LUGLIÉ, A. Consequências da eutrofização na gestão dos recursos hídricos em reservatórios do Mediterrâneo: um estudo de caso do Lago Cedrino (Sardenha, Itália). **Ecologia Global e Conservação**, v. 12, p. 21-35, ago. 2017.

PAULA FILHO, F.J.; MARINS, R.V.; CHICHARO, L.; SOUZA, R.B.; SANTOS, G.V.; BRAZ, E.M.A. Evaluation of water quality and trophic state in the Parnaíba River Delta, Northeast Brazil. **Regional Studies in Marine Science**, v. 34, p. 101025, jan. 2020.

PIRES, A.P.N. Estrutura e objetivos da transposição do rio São Francisco: versões de uma mesma história. **Geosp - Espaço e Tempo**, v. 23, n. 1, p. 182-197, abr. 2019.

SANTOS, A.; OLIVEIRA LOPES, P.M.; VINÍCIOS DA SILVA, M.; MANIÇOBA DA ROSA FERRAZ JARDIM, A.; BARBOSA DE ALBUQUERQUE MOURA, G.; TAVARES FERNANDES, G.S.; FRANCISCO DE OLIVEIRA-JÚNIOR, J. Causes and consequences of seasonal changes in the water flow of the São Francisco river in the semiarid of Brazil. **Indicadores Ambientais e de Sustentabilidade**, p. 100084, out. 2020.

SANTOS, J.A.; MARINS, R.V.; AGUIAR, J.E.; CHALLAR, G.; SILVA, FATF.; LACERDA, L.D. Hidroquímica e mudança do estado trófico em um grande reservatório na região nordeste do Brasil sob condições de seca intensa. **Journal of Limnology**, v. 76, n. 1, p. 41-51, ago. 2016.

SEITZ, C.; SCORDO, F.; VITAL, A. J.; VÉLEZ, M. I.; PERILLO, G.M.E. The effects of extreme drought events on the morphometry of shallow lakes: Implications for sediment resuspension and littoral and pelagic zone distribution. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 103, p. 102743, jul. 2020.

STEVOVE, B.; BABELOVÁ, M.; HARUSTIAKOVÁ, D.; KOVÁČ, V. Whuen a river is affected by a reservoir: Trophic interactions and flexibility in feeding strategies of alpine bullhead (*Cottus poecilopus*) e bullhead europeu (*Cottus gobio*). **Science of The Total Environment**, v. 651, p. 1903-1912, 2019.

TOLEDO, A.P.J.; TALARICO, M.; CHINEZ, S.J.; AGUDO, E.G. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 12., Balneário Camboriú, Santa Catarina. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. p.1-34, 1983.

TORRES-FRANCO, A.F.; ALATRISTA-GÓNGORA, G.R.; GUZMÁN-RODRÍGUEZ N. P.; CALIZAYA-ANCO, J.A.; MOTA, C.R.; FIGUEREDO, C.C. Physicochemical and diatom trophic state indexes: A complementary approach for improving water sustainability in a high Andean urban stream. **Ecohydrology & Hidrobiologia**, 2019.

WIEGAND, M.C.; DO NASCIMENTO, A.T.P.; COSTA, A.C.; LIMA NETO, I. E. Trophic state changes of semi-arid reservoirs as a function of the hydro-climatic variability. **Journal of Arid Environments**, v. 184, p. 104321, 2021.

AGRADECIMENTOS

Para a minha realidade de vida na adolescência, ser professor era quase impossível. Estudar em uma universidade e cursar uma graduação, então nem se fala... As dificuldades eram muitas, mas achava a “coisa” mais linda quando escutava as frases: “Passou no vestibular”, “Está na universidade”, “Se formou” e tantas outras expressões ligadas à vida acadêmica. No Ensino Médio, esperava todos saírem da sala e apagava o nome da professora de Biologia do quadro e colocava o meu, entretanto sabia que para ser professor da disciplina que mais gostava teria que percorrer um longo e árduo caminho.

Depois de tantos anos trabalhando em uma empresa, que fechou suas portas, demitindo todos os funcionários, eu ignorei as dificuldades e fui estudar para o ENEM

após vinte anos de conclusão do Ensino Médio. Sempre acreditei que essa era a melhor maneira de cuidar da minha esposa e minhas filhas buscando um futuro melhor. E depois da luta consegui escutar sobre a minha vida frases que sempre almejei: "Passou no vestibular", "Está na universidade", "Se formou".

Agradeço, primeiramente, a Deus e a Nossa Senhora, que por sua interseção, tive forças para continuar no curso nos momentos que pensava em desistir. Foram muitos pedidos e eu sempre apelava: "Mãezinha, me cobre com o teu manto sagrado e intercede por mim junto a Jesus, pois nem um filho nega o pedido de sua mãe". Agradeço também a minha mãe, Terezinha, que em meio as dificuldades, cuidou de nossa família com muito zelo e dedicação tornando seus filhos homens e mulheres do bem. Estendo o "meu muito obrigado" aos meus irmãos Ana Cláudia, Cláudio Alberto, Andréia Carla e Ronaldo, por acreditar que eu iria conseguir. Ainda destaco, meu sogro sr. Rangel (em memória), que foi um grande incentivador e em vários momentos meu pai, que junto a minha sogra, Maria das Neves, e meus cunhados Eduardo e Suzana me ajudaram a conquistar esse sonho.

Agradeço, de forma mais que especial, a minha esposa que é a definição de "parceria" e em diversos momentos se transfigurou em minha mãe, amiga leal, eterna namorada e mãe amorosa das nossas filhas. A você, Bianca, meu muito obrigado: pela paciência e compreensão das ausências. Agradeço aos amores da minha vida: Ana Carla e Helena, filhas que Deus nos presenteou e que fazem a minha alegria diária. E destaco a compreensão quando me chamavam para brincar, passear e nem sempre podia atende-las devido às tarefas que precisava realizar. Agradeço aos amigos do Laboratório de Ecologia Aquática (LEAQ).

Enfatizo um agradecimento especial à Dra. Vanessa Virgínia, que com todo o seu conhecimento e experiência, me co-orientou e me ajudou em todo o desenvolvimento do trabalho, não medindo esforços para que esse sonho se tornasse realidade. E ao amigo e prof. Dr. José Etham de Lucena Barbosa que me alicerçou em um momento de dificuldade financeira me inserindo no Leaq e no projeto CAGEPA, permitindo que eu trabalhasse e estudasse de forma digna e efetiva. Por fim, agradeço à Universidade Estadual da Paraíba por me conceder este título e a todos os professores e colaboradores da instituição que fizeram parte do meu percurso enquanto graduando.

MUITO OBRIGADO!